

УДК 621.74: 669.131.7

В.В. ТКАЧ, А.С. АМЕЛЬЧЕНКО, кандидати техн. наук, доценти,
В.В. ВАСИЛЬЄВ, магістр, ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИХ МЕТОДІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЧАВУННИХ ВИЛИВОК СЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЯКОСТІ

Виконано дослідження чавунних виливків типу «вилівниця» із ВЧ-45 та «перехідник» із СЧ-20, підбрано оптимальні методики їх ультразвукового обстеження, зроблено висновки що до їх вдосконалення у майбутньому.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. У промисловій і лабораторній практиці структуру чавуну звичайно досліджують металографічним методом. Для виготовлення шліфів необхідно відливати спеціальні проби (їхня структура не завжди адекватна структурі вилівка, особливо якщо є різниця в товщині), або частково зруйнувати вилівок, а іноді використовувати зразки, вирізані із додатку на ливниковій системі. Підготовка поверхні шліфів для аналізу пов'язана з ручною роботою, що вимагає певної кваліфікації, застосування агресивних хімікативів, небезпечних для здоров'я людини.

Ультразвуковий контроль структури чавуну усунув би більшість недоліків металографічного методу, однак його застосування стримується тим, що акустичні характеристики (швидкість і коефіцієнт загасання ультразвуку) залежать від технологічних особливостей одержання чавуну, тому для конкретного виду чавуну, відлитого на конкретному заводі, необхідно розробляти свою методику. Ультразвуковий метод найбільш ефективний при контролі структури чавунних виливків великих партій при стабільній технології лиття.

Високоміцний чавун (ВЧ) є перспективним конструкційним матеріалом, що застосовується в машинобудуванні, металургії, суднобудуванні, будівництві тунелів інших галузях. Цей конструкційний матеріал, володіючи цілим комплексом унікальних технологічних, механічних і експлуатаційних властивостей, використовується для виготовлення відповідальних деталей машин і механізмів, що працюють у різних умовах при статичних і динамічних навантаженнях. У багатьох випадках він успішно конкурує з вуглецевою і легированими сталлями. Частка виливків у загальному обсязі випуску відливок у провідних країнах миру досягає 30% і більш. У той же час в Україні й країнах СНД виробництво виливків з ВЧ $\leq 3..4\%$ від загального випуску литих заготовок. Частково це пов'язано зі складністю процесу модифікування й нестабільністю структури й властивостей [1].

Як відомо, на литу структуру ВЧ, і в першу чергу на форму, розміри й розподіл включень графіту, великий вплив виявляє спосіб уведення модифікатора. У цей час відома безліч способів обробки рідкого розплаву сфероїдизуючим модифікатором: обробка в герметизованих стаціонарних і поворотних ковшах, автоклавах, відкритих ковшах, а також способи пізнього модифікування - у потоці розплаву при заливанні в ливарну форму або усередині самої форми. Найбільш перспективний спосіб модифікування чавуну у формі з використанням низькопроцентних магнієвих лігатур.

В умовах ПрАТ «КЗГО» з високоміцного чавуну постійно виготовляють вилівницю для власних потреб, але відсоток браку становить до 20 %, існують усі умови для проведення ультразвукових досліджень, до теперішнього часу ультразвукові обстеження проводилися лише на сталевих виливках, з метою більш детального дослідження структури та видів дефектів було прийнято рішення спираючись на досвід іноземних колег провести обстеження типів чавунних виливків.

Аналіз досліджень та публікацій. Використовувати ультразвук для контролю структури металу вперше запропонував радянський вчений С.Я. Соколов. Перші роботи з ультразвукового структурного аналізу чавуну в нашій країні належать Химченко Н.В., Циглеру Р. і Герстнеру Р., Бивирту Г.

Спочатку була звернута увага на зв'язок форми графітних включень зі швидкістю поздовжньої хвилі ультразвуку, відомо, що модуль Юнга чавуну з кулястим графітом більш ніж у два рази перевищує модуль Юнга чавуну із пластинчастим графітом [2]. Швидкість поздовжньої

хвилі ультразвуку V_l як величина, прямопропорційно залежна від модуля Юнга, також змінюється зі зміною форми графіту. Крива, що описує вплив форми графіту на величину V_l , вона надалі тиражується в багатьох роботах [2,3]. Вид залежності незмінний, але крива може зміщуватися по осі V_l при зміні структури металевої основи, розміру графітних вкладень або ступеня евтектичності.

Для опису форми графітних включень звичайно обчислюють відсоток вмісту кулястого графіту. Якщо чомусь цей метод не підходить, можна скористатися шкалами форми графіту, наведеними в ДСТ 3443-87. Пропонується оцінювати форму графіту відношенням площі включень до їхнього обсягу. Морфологічний коефіцієнт, запропонований для опису форми графіту, враховує, крім геометричного опису ще й частоту появи графітних включень певної форми. Яким чином не була описана форма графіту, вплив її на величину швидкості поздовжньої хвилі ультразвуку незмінний, [2].

Фізично ефект зниження V_l у чавуні із пластинчастим графітом можна пояснити зміною фази хвилі при її багаторазових відбиттях усередині графітних включень, якщо змодельовати графітні включення мікротріщинами. Поява мікротріщин викликає додаткове акустичне загасання, обумовлене частковим відбиттям звукової енергії від межі тріщина-середовище, що справедливо також для пластівок графіту. Досліджено вплив об'ємної частки сферичних і еліпсоїдних пор у металі на V_l . Відповідно теорії множинного хвильового розсіювання за допомогою досить складних математичних обчислень було доведено, що V_l знижується зі зменшенням об'ємної частки несучільностей, і що V_l для зразка зі сферичними порами, більше, ніж для еліпсоїдних. Результати обчислень підтверджені експериментальними даними, отриманими на зразках. Робота може служити математичним обґрунтуванням впливу кількості й розміру кулястого й вермикулярного графіту на V_l [2].

При застосуванні ультразвукового контролю форми графітних включень для промисловості потрібно визначити величину V_l що відповідає прикордонному значенню кулястої й вермикулярної форм графіту. Для різних товщин і технологій величина прикордонної V_l коливається від 5,10 км/с (товстостінні виливки) до 5,26 км/с і до 5,50 км/с, [2,3].

Запропоновано використовувати для визначення форми графіту таку відому акустичну характеристику, як відхилення сигнал-перешкода. Для виміру цієї характеристики потрібен тільки перший донний сигнал, вона мало залежить від товщини виливки. Відношення сигнал-перешкода залежить від трьох акустичних параметрів матеріалу: V_l , коефіцієнта розсіювання ультразвуку й тривалості ультразвукового імпульсу.

Помилка виміру становить 4%. Як відомо, V_l і коефіцієнт розсіювання ультразвуку залежать від форми графіту, що дозволяє припустити наявність такої ж залежності й у відношенні сигнал/перешкода. Проведений експеримент доводить справедливість цього припущення [3].

Відношення сигнал/перешкода зручно використовувати для оцінки форми графіту при відсутності другого донного сигналу, необхідного для обчислення швидкості поширення хвилі й коефіцієнту загасання. Звичайно відсутність другого донного сигналу спостерігається в групі з більшим загасанням, з формою графітних включень близькою до пластинчастого, або якщо товщина виливки велика. Спочатку необхідно для конкретного чавуну побудувати залежність для відношення сигнал/перешкода.

Ультразвуковий метод визначення форми графіту знайшов широке застосування в промисловості також завдяки своїй оперативності й можливості автоматизації операцій. Відомі комп'ютеризовані автоматичні установки для контролю форми графітних включень у чавуні за значеннями V_l . На контроль однієї виливки витрачається 30 секунд.

При контролі виливків складної форми, що не дозволяє виміряти V_l за товщиною, можна використовувати поверхневі хвилі. Автори [4] визначили прикордонне значення швидкості поверхневої хвилі між чавуном з кулястої й вермикулярної форми графіту - 2,74-2,93 км/с. Головні хвилі (поздовжні хвилі, що поширюються в поверхневому шарі), так само можуть бути використані для оцінки форми графіту. При вимірі швидкості поверхневої й головної хвилі ультразвуку замість товщини виливка, використовуваної для виміру V_l , визначають відстань між точками введення й прийому хвиль.

Для визначення форми графіту в чавуні також використовують коефіцієнт загасання ультразвуку. Коефіцієнт загасання зменшується зі збільшенням частки кулястого графіту. Залеж-

ність коефіцієнта загасання від форми графітних включень лінійна. Однак більша помилка результатів виміру коефіцієнта загасання (>10%) у порівнянні з результатами виміру V_l ($\approx 1\%$) робить вимір останньої більше прийнятним для практики [4].

У меншому ступені, ніж форма графіту, на акустичні характеристики чавуну впливають розмір і кількість графітних включень. Для чавуну з кулястим графітом зі зменшенням розміру графітних включень збільшується V_l . Вимір розміру пластинчастих графітних включень із 2 до 6 одиниць по шкалі ASTM тягне збільшення V_l приблизно на 15%. Експериментально встановлено для перлітного чавуну із пластинчастим графітом, що збільшення розміру графіту від 10 до 70 мкм супроводжується зменшенням V_l від 5,0 до 4,6 км/с. Коефіцієнт загасання ультразвуку теж реагує на зміни розмірів графітних включень [3,4].

З питання впливу кількості графіту на V_l існують різні думки. Деякими вченими стверджується, що кількість графітних включень у чавуні впливає на V_l більше, ніж їхній розмір, а деякі вчені заперечують цей вплив. У більшості робіт, присвячених цьому питанню, стверджують безсумнівний вплив кількості графітних включень на V_l більше, ніж вплив розміру графітних включень. Коефіцієнт загасання зростає зі збільшенням кількості графіту.

Вплив параметрів графітних включень на V_l настільки великий, що варіюючи ними, можна змінити значення V_l у 2 рази [4].

Постановка завдання. У зв'язку з тим, що проходження ультразвукових хвиль через чавун має досить різноманітний характер і явища, які при цьому виникають до теперішнього часу є невивченими було вирішено провести ряд досліджень в умовах ПрАТ «КЗГО» на чавунних виливках з двох марок чавуну: високоміцного ВЧ-45 та сірого СЧ-20 так як відсоток браку при виготовленні цих виливків досить високий і становить до 20 %.

Метою дослідження є доведення ефективності ультразвукового контролю чавунних виливків в умовах українських промислових підприємств та підвищення якості та конкурентоспроможності вітчизняного чавунного литва.

Викладення матеріалу та результати. Для виявлення дефектів типу внутрішньої пористості, у якості розсіювача й поглинача звукової хвилі, найбільше підходить дзеркально-тінювий метод ультразвукової дефектоскопії. Суть його полягає у тому, що на початку визначають величину амплітуди донного сигналу (відбитого від площини, паралельної поверхні введення ультразвукового сигналу) на бездефектній ділянці виливка. Потім, якщо при переміщенні перетворювача по контактній поверхні виливка, з'являється зменшення амплітуди донного сигналу ≥ 6 дБ, фіксується координата центру перетворювача, що й позначає границю передбачуваного дефекту.

Приклад виміру координат пористості. Контролювалася виливка типу "вилівниця", виготовленої на заводі ПрАТ "КЗГО", Кривий Ріг, із чавуну з кулястим графітом марки ВЧ-45. Виміри проводилися по чистій литій поверхні. Використовувалися прямі сполучені перетворювачі із частотою 1,2 МГц і діаметром п'єзопластини 35 і 50 мм. Прозвучування проводилося в трьох площинах.

У кожному випадку критерій 5 дБ виявився застосовним тільки для перетворювача діаметром 50 мм; для перетворювача діаметром 30 мм, що має більшу розбіжність звукового пучка, його необхідно вибирати експериментально. Для цієї мети був виготовлений зразок із прорізом, що імітує край дефекту. Перетворювач пересували щодо краю пропилю й вимірювали амплітуду донного сигналу, що відповідає певному положенню центру перетворювача. Виміри проводилися на литій контактній (Rz 140) поверхні й по обробленій Rz 80 і Rz 20. Різні значення критерію границі дефекту для різних Rz (Rz 20 - 10 дБ, Rz 100 - 12 дБ, Rz 160 - 16 дБ) обумовлені розширенням кута розкриття діаграми спрямованості через розсіювання ультразвуку на шорсткості поверхні.

Для оцінки чутливості ехо-методу дефектоскопії, тобто виявлення дефекту по відбиттю сигналу від нього, необхідно провести попередньо експеримент на еталонному зразку зі штучними відбивачами. Якщо дзеркально-тінювий метод можна застосувати для виявлення дефектів типу пористості, тоді ехо-метод можна застосувати для дефектів, що володіють здатністю відбивати звукову хвилю - це пори, раковини, тріщини.

Моделлю дефекту типу одиничної пори може служити торець циліндричного отвору. Був виготовлений виливок типу "перехідник" з контрольованого сірого чавуну СЧ-20. Вимірювали відбитий сигнал від торців отворів діаметром 4,5,6,8 мм на глибині 15, 30, 60 мм. Виміри велися прямим сполученням перетворювачем діаметром 10 мм і частотою 1,2 МГц по литій поверхні. За результатами вимірів побудовані АРД-діаграми, широко використовувані при дефектоскопії

сталі. Вони дозволяють, знаючи амплітуду відбитого від дефекту сигналу й відстань до дефекту від поверхні уведення, визначені по екрану дефектоскопа, визначити еквівалентний діаметр дефекту. Для ультразвукової дефектоскопії виливків ехо-методом було виготовлено контрольні зразки із плоскодонними отворами діаметром 4 мм на глибину від 40 до 360 мм.

Контроль проводився по торцю виливки із СЧ-20 після попереднього настроювання чутливості по плоскодонному отвору $\varnothing 6$ на глибині 60 мм. На екрані дефектоскопа була зафіксований ехо-сигнал від дефекту амплітудою 16 дБ на глибині 10 мм по виливку. Таке сполучення даних про дефект дозволило, використовуючи АРД-діаграму, спрогнозувати розмір пор приблизно 4 мм, що й підтвердилося розкриттям. Чим більше розміри дефекту, тим він легше виявляється по відбитому від нього сигналу.

При дефектоскопії великої серії однотипних виливків можлива часткова або повна автоматизація процесу. Одні з перших автоматичних ультразвукових установок з'явилися в автомобілебудуванні.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Неоднорідність структури матеріалу. Наявність крупнозернистості структури, мікроскопічно неоднорідної фізико-хімічної системи викликає сильне розсіювання УЗ, послабляє корисний сигнал на тлі більших шумів.

Складність форми й малі розміри виробів. Ці фактори затрудняють введення ультразвукових хвиль у виріб, а при наявності виступів і виїмок поблизу можливого розташування дефектів можуть виникати помилкові сигнали. Груба поверхня виробу (нижче $Rz = 40$). приводить до послаблення чутливості і нестабільності акустичного контакту з виробом. Вимоги до шорсткості особливо високі при контактному способі і знижуються при імерсійному способі.

Оцінка результатів контролю ультразвуковими методами чітко виявляються дефекти, але часто виникають серйозні труднощі при визначенні їхніх розмірів і характеру, що має вирішальне значення для оцінки результатів.

Отже для якісного обстеження чавунних виливок необхідно чітко обирати методи ультразвукового контролю та розробляти під кожну конкретну технологію окрему методику дослідження.

Список літератури

1. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом – перспективный конструкционный материал XXI века **Н.Н. Александров**, проф. д.т.н., ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ»
2. **Л.В. Воронкова** Ультразвуковой контроль чугуновых отливок. – М.: 1998.
3. **Ермолов И. Н., Алешин Н. П.** и др. Достижения акустических методов контроля за последние 5 лет - Тезисы докладов 14-ой Российской научно-технической конференции "Неразрушающий контроль и диагностика", Москва, 23-26 июня, 2006, С. 450-453.
4. **Разумов-Раздолов К. Л.** Незарушающий контроль в промышленности // «РИТМ» (Ремонт Инновации Технологии Модернизация), 2010. - №9. - С. 36-39.

Рукопис подано до редакції 29.03.12

УДК 669

В.В. ПЛОТНИКОВ, **Т.П. ЯРОШ**, кандидати техн. наук, доц., **О.В. МАРАСАНОВА**, асистент ДВНЗ «Криворізький національний університет»

ПЕРСПЕКТИВИ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ У МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Встановлено ресурси, склад та властивості шламів промислових підприємств. Запропоновано рекомендації щодо їх утилізації в металургійному виробництві.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами. В останні роки у зв'язку з утворенням і накопиченням значної кількості промислових відходів і необхідністю вирішення екологічних проблем зростає значення комплексної їхньої утилізації. Наприклад, лише на металургійних підприємствах України в заскладованих залізовмісних шламах міститься більше 50 тис. т цинку, ресурси якого щорічно можуть збільшуватися на 13 тис. т при повному освоєнні потужностей металургійних агрегатів. Крім того, в червоних шламах міститься 8,8 тис. т цинку. При цьому загальні ресурси цинку складають близько 74 тис. т.

Переробка цинквмісних шламів в агловиробництві веде до підвищення вмісту цинку в аг-